

**ANALISIS PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KINERJA GENERATOR
PADA PT. PEMBANGKIT JAWA BALI (PJB) –
UNIT PEMBANGKIT GRESIK**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

ESTU NUR WIJAYANTI

D400160118

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2021**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KINERJA GENERATOR
PADA PT. PEMBANGKIT JAWA BALI (PJB) –
UNIT PEMBANGKIT GRESIK**

PUBLIKASI ILMIAH

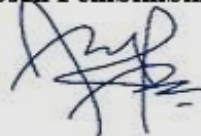
Oleh:

ESTU NUR WIJAYANTI

D400160118

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



Aris Budiman, S.T., M.T

NIK. 885

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KINERJA GENERATOR
PADA PT. PEMBANGKIT JAWA BALI (PJB) –
UNIT PEMBANGKIT GRESIK**

Oleh:

ESTU NUR WIJAYANTI

D400160118

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Surakarta

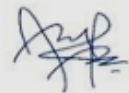
Pada hari Jum'at, 29 Januari 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

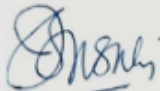
1. Aris Budiman, S.T., M.T

(Ketua Dewan Penguji)

()

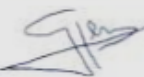
2. Agus Ulinuha, S.T., M.T., PhD

(Anggota I Dewan Penguji)

()

3. Tindyo Prasetyo, S.T., M.T

(Anggota II Dewan Penguji)

()

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T, Ph.D

NIK. 628

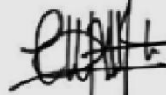
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepengetahuan saya juga terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 29 Januari 2021

Penulis



ESTU NUR WIJAYANTI

D400160118

ANALISIS PERUBAHAN BEBAN TERHADAP KINERJA GENERATOR PADA PT. PEMBANGKIT JAWA BALI (PJB) – UNIT PEMBANGKIT GRESIK

Abstrak

Generator merupakan salah satu mesin listrik yang digunakan dalam sistem pembangkit listrik dengan prinsip kerjanya mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Pada pengoperasiannya generator harus dalam kondisi stabil agar kinerjanya optimal. Kestabilan inilah yang dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor termasuk beban, faktor daya, dan lain sebagainya. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui kinerja dari generator terhadap beban yang berubah-ubah yang meliputi rugi-rugi daya generator dan efisiensi dari generator. Penelitian ini menggunakan sepuluh sampel dengan beban 80MW-100MW, diperlukan pula data *logsheet* generator dan spesifikasi generator. Hasil dari penelitian pada PT PJB – UP Gresik ini yaitu daya aktif pada GTG 1 pada beban 80MW-100MW yaitu 87,37MW-99,19MW, daya semu 87,61MVA-99,52MVA. Pada GTG 2 pada beban 80MW-100MW daya aktif yang dihasilkan adalah 88,98MW-99,39MW, dan daya semu 89,14MVA-99,57MVA. Pada GTG 3 daya aktif yang dihasilkan adalah 89,45MW-99,29MW dan daya semu 89,61MVA-99,50MVA. Rugi- rugi yang dihasilkan pada GTG 1 5,226MW-5,259MW, GTG 2 5,208MW-5,241MW, GTG 3 5,216MW-5,244MW. Untuk nilai efisiensi pada GTG 1 rata-rata yaitu 94,47%, GTG 2 94,45%, GTG 3 94,46% dan ini masih terbilang optimal.

Kata Kunci: Generator, Daya dan rugi-rugi daya, Efisiensi

Abstract

Generator is one of the electric machines used in power generation systems with the working principle of converting mechanical energy into electrical energy. In operation, the generator must be in a stable condition for optimal performance. This stability can be affected by several factors including load, power factor, and so on. This research was conducted in order to determine the performance of the generator against changing loads which includes power losses and the efficiency of the generator. This study uses ten samples with a load of 80MW-100MW, it also requires generator logsheet data and generator specifications. The results of the research at PT PJB - UP Gresik are the active power at GTG 1 at 80MW-100MW load, namely 87.37MW- 99.19MW, apparent power 87.61MVA-99.52MVA. In GTG 2 at load 80MW-100MW active power The resulting output is 88.98MW-99.39MW, and an apparent power of 89.14MVA-99.57MVA. In GTG 3, the active power produced is 89.45MW-99.29MW and the apparent power is 89.61MVA-99.50MVA. The resulting losses on GTG 1 5,226MW-5,259MW, GTG 2 5,208MW-5,241MW, GTG 3 5,216MW-5,244MW. For the average efficiency value of GTG 1 is 94.47%, GTG 2 is 94.45%, GTG 3 is 94.46% and this is still optimal.

Keywords: Generator, Power and power losses, Efficiency

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah kebutuhan yang semakin meningkat di tengah perkembangan teknologi yang ada. Dalam perkembangan sekaligus kebutuhan listrik yang meningkat maka diperlukan sistem operasi yang stabil agar energi listrik yang tersalurkan dengan baik kepada seluruh konsumennya. Terdapat beberapa sistem tenaga listrik salah satunya yaitu pembangkit. PT. Pembangkit Jawa Bali – Unit Pembangkit Gresik menjalankan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas – Uap (PLTGU). PLTGU sendiri merupakan sebuah sistem pembangkit yang menggabungkan antara PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) dan PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Perlu diketahui bahwa PLTGU adalah instalasi peralatan yang gunanya untuk merubah energi panas menjadi energi listrik, dimana panas gas buang PLTG digunakan sebagai penghasil uap yang setelahnya digunakan oleh fluida kerja pada PLTU. Bagian yang digunakan dalam proses menghasilkan uap adalah *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) sehingga energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran di PLTG menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering inilah yang nantinya digunakan untuk memutar sudu, lalu gas yang dihasilkan pada PLTG akan menggerakkan turbin yang selanjutnya generator.

Pada PT. Pembangkit Jawa Bali – Unit Pembangkit Gresik ini terdapat 2 sistem PLTGU yang memiliki 1 unit *Steam Turbin Generator*, 3 unit *Gas Turbin Generator*, 3 unit *Heat Recovery Steam Generator*. Dalam pembangkit, generator dioperasikan pada beban yang berubah-ubah terhadap waktu yang menyebabkan ketidakstabilan pada kinerja generator.

Dalam sistem pembangkit listrik, perubahan dapat terjadi sewaktu-waktu seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi yang berakibat beban pada generator sinkron juga berubah-ubah yang dapat mempengaruhi tegangan sekaligus daya keluaran, sehingga dapat menyebabkan perubahan pada tegangan terminal yang akan berpengaruh pada efisiensi pada suatu sistem (Ardyati, S, 2015)

Pengoperasian generator juga harus dalam keadaan stabil agar kinerja pada generator dapat optimal. Kestabilan ini dapat dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu beban, factor daya, arus eksitasi, dan lain-lain (Bandri, S, 2013)

Perubahan beban juga menyebabkan ketidakstabilan pada generator, dalam hal ini mempengaruhi efisiensi generator. Semakin bertambahnya daya masukan generator maka efisiensi juga akan semakin besar (Winny, D, 2015)

Tegangan pada generator sinkron dalam keadaan berbeban akan lebih rendah nilainya daripada tegangan generator sinkron dalam keadaan tanpa beban. Apabila generator diberi

beban yang berubah-ubah dan terjadi ketidakseimbangan beban maka diduga tegangan tidak akan stabil. Pada kondisi arus yang sama dengan factor daya yang berbeda, semakin besar nilai pada factor daya maka akan semakin kecil pula nilai regulasi tegangan maupun nilai faktor ketidakseimbangan beban (Remigius Tandioga, Mahartang, 2014)

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan maka penulis melakukan penelitian tugas akhir di PT. PJB – UP Gresik mengenai perubahan beban terhadap kinerja dari generator. Penelitian ini menggunakan beberapa data seperti data *logsheet* generator sekaligus uji hambatan pada generator untuk selanjutnya mengetahui nilai dari tegangan induksi, rugi-rugi daya, dan juga efisiensi pada generator.

2. METODE

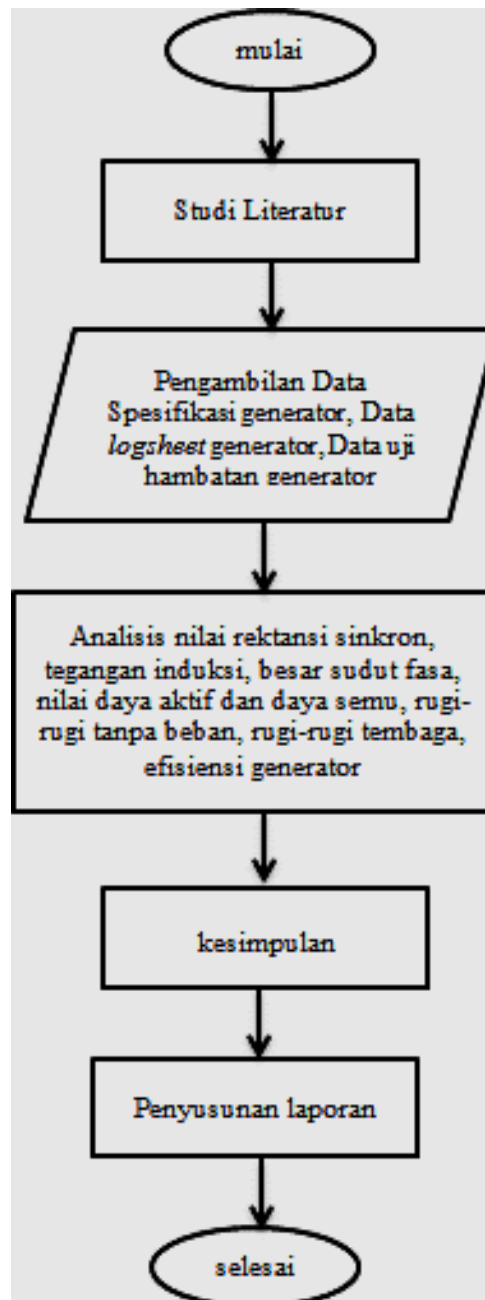
2.1 Rancangan Penelitian

Sebelum melakukan penelitian, penulis terlebih dahulu menyusun rencana penelitian guna memaparkan metode yang akan dilaksanakan. Pada penelitian ini diperlukan beberapa metode seperti menentukan tempat penelitian, jadwal penelitian, studi literatur, pengambilan data, pengolahan dan analisa data yang diperoleh, yang terakhir yaitu menarik kesimpulan pada penelitian. Data yang diambil oleh penulis adalah data pada GTG 1, GTG 2, dan GTG 3 yang terdapat pada PT. PJB – UP Gresik pada tahun 2018. Data yang diperoleh antara lain spesifikasi generator, data *logsheet* generator, sekaligus data uji hambatan pada generator. Pada *logsheet* generator penulis mengambil sampel pada bulan september dengan sepuluh data dari range beban 80 MW yang terkecil sampai dengan 100 MW yang terbesar guna mendapatkan hasil berupa perubahan beban terhadap kinerja generator dengan metode literatur yang telah dipelajari oleh penulis.

Analisis pertama yang harus ditentukan adalah menghitung nilai dari reaktansi sinkron terlebih dahulu, pada tahap ini diperlukan data dari kurva saturasi generator untuk mengetahui nilai dari tegangan nominal dan juga satuan PU. Ketika nilai dari reaktansi sinkron sudah diketahui maka dilanjutkan dengan menghitung nilai tegangan induksi, dalam hal ini diperlukan nilai dari tegangan terminal pada generator, arus generator dan juga perhitungan dari tahanan jangkar. Dilanjutkan dengan perhitungan besar sudut fasa dari daya aktif yang telah diketahui, nilai sudut fasa inilah yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan daya aktif dan juga daya semu. Setelah perhitungan daya listrik maka dilanjutkan dengan perhitungan rugi-rugi daya yang meliputi dari rugi tanpa beban, dalam perhitungan nilai rugi tanpa beban diperlukan data seperti kurva saturasi yang selanjutnya menghitung rugi tembaga yang terdiri dari rugi jangkar dan juga rugi medan. Setelah nilai dari rugi-rugi daya diketahui maka dilanjutkan dengan menghitung nilai efisiensi, perhitungan ini juga

diperlukan data dari beban dan juga rugi total yang telah diketahui. Setelah semua perhitungan dilakukan maka dilanjutkan dengan menganalisis semua hasil perhitungan yang kemudian dapat menentukan kinerja dari generator terhadap perubahan beban tersebut. Tahap terakhir yaitu penyusunan laporan tugas akhir yang berupa analisis dari penulis. Penyusunan laporan ini sesuai dengan format penulisan naskah publikasi yang telah ditentukan.

2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data

Penulis memperoleh beberapa data dari PT. PJB – UP Gresik pada bulan September 2018, diantaranya:

3.1.1 Data Spesifikasi Generator

Merk	: SIEMENS	Kapasitas	: 150 MVA
Type	: TLRI 108/36	Tegangan	: 11,5 kV
Weight	: 205.000 kg	Daya Terpasang	: 115 MW
Power factor	: 0,8	Arus Exsitasi	: 1283 A
Putaran	: 3000 rpm/min	Tegangan Exsitasi	: 550 V
Frekuensi	: 50Hz	Connection	: 3 Phase YY
Arus	: 7199 A	Colling	: Air/Water

3.1.2 Data Uji Hambatan Generator

Pada data pengujian hambatan generator ini merupakan data penelitian pada tahun 2017 pada suhu 30,5°C. Dengan standart spesifikasi (jangkar 100°C) (medan 125°C)

Tabel 1. Data Uji Hambatan Generator

Generator	Hambatan jangkar (miliohm)			Hambatan medan (miliohm)
	R	S	T	
GTG 1	1,523	1,527	1,524	265,758
GTG 2	1,526	1,530	1,531	265,677
GTG 3	1,523	1,526	1,527	265,898

3.1.3 Data Logsheet Generator

Data yang diambil merupakan sampel sepuluh data dengan range beban terkecil yaitu 80 MW sampai dengan yang terbesar 100 MW.

Tabel 2. Logsheet GTG1

No	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVA _r)	Arus Generator I _a (A)	Tegangan Terminal (kV)	Arus Medan I _f (A)	Tegangan Medan (kV)
1	80	6,6	4400	11,5	1035	220
2	82	5,9	4500	11,5	1030	225
3	82,5	8,5	4600	11,6	1040	220
4	85	6,2	4550	11,8	1020	230
5	91	-5,5	4700	11,5	1055	240
6	92	-7,5	4500	11,7	1095	260
7	95	7,2	4850	11,6	1020	235
8	95,5	6,6	4900	11,6	1020	250
9	98	9,5	4800	11,8	1030	230
10	100	8,1	5000	11,5	1025	260

Tabel 3. *Logsheet* GTG2

No	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVar)	Arus Generator Ia (A)	Tegangan Terminal (kV)	Arus Medan If (A)	Tegangan Medan (kV)
1	80	5,4	4400	11,7	840	220
2	82	7	4500	11,5	840	200
3	82	5,5	4500	11,8	830	220
4	86,2	5,5	4650	11,8	830	195
5	87	6	4700	11,6	840	210
6	90	5,2	4700	11,7	830	210
7	95	6,6	4800	11,5	840	220
8	93,5	5,9	4800	11,6	835	215
9	97	5,5	4900	11,7	830	210
10	100	6	5000	11,5	840	220

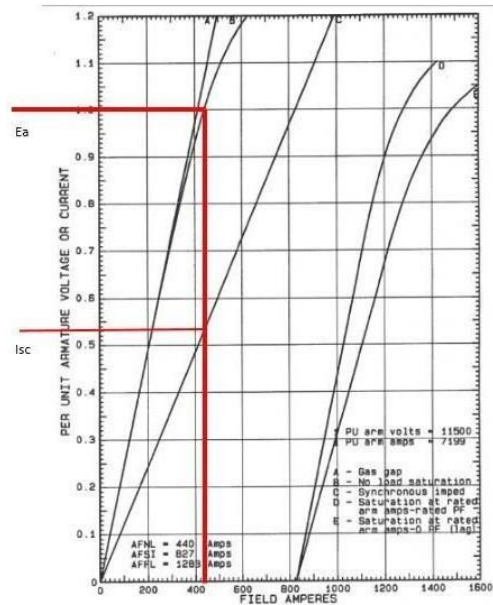
Tabel 4. *Logsheet* GTG3

No	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (MVar)	Arus Generator Ia (A)	Tegangan Terminal (kV)	Arus Medan If (A)	Tegangan Medan (kV)
1	80	5,5	4500	11,5	870	220
2	82	6	4600	11,6	875	200
3	84,5	8,2	4600	11,8	880	225
4	86,2	5,8	4400	11,7	850	210
5	87	7	4700	11,8	890	210
6	90	6,3	4750	11,5	865	230
7	92	8,5	4750	11,7	900	220
8	96	7,5	4900	11,6	850	215
9	97	8	4800	11,6	875	210
10	100	6,5	5000	11,5	875	230

3.2 Analisa Perhitungan

3.2.1 Perhitungan Nilai Reaktansi Sinkron

Pada perhitungan ini dibutuhkan data dari kurva saturasi generator, kurva saturasi disini merupakan perbandingan antara arus armature dengan arus eksitasi. Pada kurva ini terdapat garis dari pengujian generator. Selain digunakan untuk menghitung nilai reaktansi sinkron, kurva saturasi ini juga digunakan untuk menghitung rugi-rugi tanpa beban. Berikut adalah gambar dari kurva saturasi:



Gambar 2. Kurva Saturasi Generator

Dapat dilihat pada kurva tersebut bahwa sumbu Y merupakan sumbu tegangan dan juga arus jangkar, sedangkan sumbu X merupakan sumbu arus medan. Dimana pada sumbu Y $1\text{PU} = 11500\text{V}$ dan sumbu X $1\text{PU} = 7199\text{A}$. Maka dari kurva tersebut dapat diketahui nilai:

$$E_{aL-L} = 11500$$

$$I_{SC} = 0,53 \times 7199 = 3815,47 \text{ A}$$

Jika generator dengan hubung star maka:

$$E_{aL-L} = \sqrt{3} \times E_{aL-N} \dots \dots \dots (1)$$

$$E_{aL-N} = \frac{E_{aL-L}}{\sqrt{3}}$$

$$E_{aL-N} = \frac{11500}{\sqrt{3}}$$

$$E_{aL-N} = 6639,52 \text{ V}$$

Jika nilai I_{SC} sudah diketahui maka besarnya reaktansi sinkron adalah sebagai berikut:

$$X_s = \frac{E_{aL-N}}{I_{SC}} \dots \dots \dots (2)$$

$$X_s = \frac{6639,52\text{V}}{3815,47\text{A}}$$

$$X_s = 1,740\Omega$$

Pada pengujian hambatan pada data yang diperoleh yaitu pengukuran pada suhu $30,5^\circ\text{C}$.

Dengan standart dari spesifikasi yaitu 100°C , maka dapat dikonversikan sebagai berikut:

$$R_t = R_0 (1 + \alpha \Delta t) \dots \dots \dots (3)$$

Dimana: R_t = nilai resistansi pada suhu standart
 R_0 = nilai resistansi ketika suhu 30,5°C
 α = koefisien tahanan tembaga generator (0,0039)
 Δt = selisih suhu

Maka didapat nilai hambatan pada suhu 100°C adalah:

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_0 (1 + \alpha \Delta t) \\
 &= 0,001523 \times (1 + (0,0039 \times (100 - 30,5))) \\
 &= 0,001523 \times (1 + (0,0039 \times (69,5))) \\
 &= 0,001523 \times (1 + 0,27105) \\
 &= 0,001523 \times 1,27105 \\
 &= 0,001936\Omega
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hambatan Jangkar pada suhu 100°C

Generator	Hambatan Jangkar pada suhu 100°C (Ω)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
GTG 1	0,001936	0,001940	0,001936
GTG2	0,001941	0,001945	0,001940
GTG3	0,001937	0,001946	0,001941

3.2.2 Tegangan Induksi

$$E_a = V_t + jx_s I_a + R_a I_a \dots\dots\dots (4)$$

dimana: E_a = Tegangan induksi (Volt)
 V_t = Tegangan terminal (Volt)
 X_s = Reaktansi sinkron (Ohm)
 I_a = Arus jangkar (Ampere)
 R_a = Tahanan jangkar (Ohm)

Pada GTG 1 diketahui nilai beban yaitu 80MW dengan tegangan terminal 11,5 kV dan nilai I_a yaitu 4400A, dan nilai reaktansi sinkron yaitu 1,740 Ω dan tahanan jangkar yaitu 0,001936 Ω . Maka di dapat tegangan induksi pada fasa R sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 E_{aR} &= V_t + jx_s I_a + R_t I_a \\
 &= \frac{11500}{\sqrt{3}} + j1,740\Omega \times 4400A + 0,001936\Omega \times 4400A \\
 &= 6639,528 + j7656 + 8,5184
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 6648,046 + j7656 \\
&= 10139,57 \angle 49,03 \\
&= |10139,57| \\
E_{a_{L-L}} &= \sqrt{3} \times E_{a_{L-N}} \dots \dots \dots (5) \\
&= \sqrt{3} \times 10139,57 \\
&= 17562,250 \text{ V}
\end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga digunakan untuk mencari nilai tegangan induksi pada fasa S dan T pada beban yang lain dan juga pada GTG 2 dan 3, sehingga diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 6. Tegangan induksi

No.	Ea Line (V)		
	GTG 1	GTG 2	GTG 3
1	17562,250	17694,042	17791,124
2	17791,124	17791,141	18086,196
3	18086,178	17986,776	18215,286
4	18100,745	18330,363	17694,025
5	18255,175	18318,464	18445,908
6	17694,025	18382,030	18372,469
7	18670,468	18490,249	18382,013
8	16346,559	18552,689	18788,820
9	18678,540	16417,815	18552,672
10	18965,922	18965,939	18965,922

3.2.3 Perhitungan Daya Listrik

Pada perhitungan daya nyata di sini diperlukan nilai sudut fasa terlebih dahulu, sebagai contoh dari *logsheet* GTG 1 ialah sebagai berikut:

$$Q = 3 \times V_{t\phi} \times I_{a\phi} \times \sin\phi \dots \dots \dots (6)$$

Dimana: $V_{t\phi}$ = Tegangan phasa (Volt)

$I_{a\phi}$ = Arus phasa (Ampere)

$$\begin{aligned}
V_{t\phi} &= \frac{11600}{\sqrt{3}} \\
&= 6639,528 \text{ V}
\end{aligned}$$

$$I_a = I_{a\phi} = 4400 \text{ A}$$

Maka dapat diketahui nilai sudut fasa adalah:

$$\begin{aligned}
 6,6 \times 10^6 \text{ Var} &= 3 \times 6639,528 \text{ V} \times 4400 \text{ A} \times \sin\varphi \\
 6,6 \times 10^6 \text{ Var} &= 87641769,6 \text{ V} \times \sin\varphi \\
 \sin\varphi &= \frac{6,6 \times 10^6 \text{ Var}}{87641769,6 \text{ V}} \\
 \sin\varphi &= 0,075 \\
 \varphi &= 4,318^\circ \\
 \cos\varphi &= 0,997
 \end{aligned}$$

Ketika sudah diketahui nilai sudut fasa, maka nilai daya aktif adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P &= 3 \times V_{t\phi} \times I_{a\phi} \times \cos\varphi \dots\dots\dots(7) \\
 &= 3 \times 6639,528 \text{ V} \times 4400 \text{ A} \times 0,997 \\
 &= 87641769,6 \text{ V} \times 0,997 \\
 &= 87378844,29 \text{ W} \\
 &= 87,37 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Perhitungan daya semu:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan: S = Daya Semu
P = Daya Aktif
Q = Daya Reaktif

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{P^2 + Q^2} \\
 &= \sqrt{87,37^2 + 6,6^2} \\
 &= \sqrt{7677,07} \\
 &= 87,61 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Dengan melakukan perhitungan yang sama maka didapat pada hasil GTG 1, GTG 2, dan GTG 3 adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Perhitungan Daya GTG 1

No	P (MW)	Q (MVA _r)	SudutFasa	$\cos\phi$	P Perhitungan	S (MVA)
1	80	6,6	4,318	0,997	87,37	87,61
2	82	5,9	3,774	0,997	89,36	89,55
3	82,5	8,5	5,276	0,995	91,96	92,351
4	85	6,2	3,865	0,997	92,71	92,91
5	91	-5,5	-3,368	0,998	93,43	93,59
6	92	-7,5	-4,825	0,996	88,80	89,11
7	95	7,2	4,237	0,997	97,15	97,41
8	95,5	6,6	3,843	0,997	98,15	98,37
9	98	9,5	5,557	0,995	97,61	98,07
10	100	8,1	4,665	0,996	99,19	99,52

Tabel 8. Perhitungan Daya GTG 2

No	P (MW)	Q (MVA _r)	SudutFasa	$\cos\phi$	P Perhitungan	S (MVA)
1	80	5,4	3,472	0,998	88,98	89,14
2	82	7	4,479	0,996	89,27	89,54
3	82,5	5,5	3,428	0,998	91,78	91,94
4	85	5,5	3,317	0,998	94,84	94,99
5	91	6	3,642	0,997	94,14	94,33
6	92	5,2	3,129	0,998	95,05	95,19
7	95	6,6	3,958	0,997	95,32	95,56
8	95,5	5,9	3,507	0,998	96,24	96,42
9	98	5,5	3,175	0,998	99,09	99,24
10	100	6	3,454	0,998	99,39	99,57

Tabel 9. Perhitungan Daya GTG 3

No	P (MW)	Q (MVA _r)	SudutFasa	$\cos\phi$	P Perhitungan	S (MVA)
1	80	5,5	3,517	0,998	89,45	89,61
2	82	6	3,772	0,997	92,14	92,33
3	84,5	8,2	5,003	0,996	93,63	93,98
4	86,2	5,8	3,729	0,997	88,89	89,07
5	87	7	4,178	0,997	95,71	95,96
6	90	6,3	3,817	0,997	94,32	94,53
7	92	8,5	5,120	0,996	94,86	95,24
8	96	7,5	4,369	0,997	98,15	98,43
9	97	8	4,758	0,996	96,05	96,38
10	100	6,5	3,742	0,997	99,29	99,5

3.2.4 Analisa Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya terdiri dari rugi tanpa beban dan juga rugi tembaga. Untuk perhitungan rugi tanpa beban diperlukan data kurva saturasi. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{rugi no load} = V_t \times I_f \dots\dots\dots(9)$$

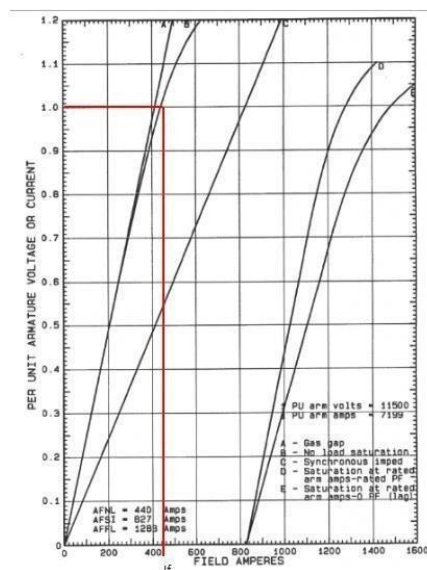
Keterangan: V_t = tegangan terminal

I_f = Arus medan

$$\text{rugi no load} = 11500 \text{ V} \times 440 \text{ A}$$

$$= 5060000 \text{ Watt} = 5,06 \text{ MW}$$

Pada arus medan (I_f) untuk menghasilkan tegangan terminal bernilai 11500V adalah 440A, angka ini diperoleh dari kurva saturasi sebagai berikut:



Gambar 3. Kurva Saturasi

Pada kurva tersebut dapat diketahui bahwa kurva A dan B merupakan garis yang menunjukkan karakteristik generator tanpa beban yang dihasilkan dari pengujian beban nol. Nilai reaktansi sinkron dicari dengan menarik garis dari sumbu Y yang merupakan sumbu tegangan dan arus jangkar dengan tegangan nominalnya memiliki satuan per unit yaitu 1 PU = 11500V. kurva B Ketika ditarik kebawah ke sumbu X yang merupakan sumbu dari arus medan (*field ampere*) sehingga memotong kurva C, titik perpotongan ini ditarik ke sumbu Y sehingga diketahui nilai arus medan yaitu 440A.

Dalam keadaan tanpa beban arus jangkar tidak mengalir pada stator, sehingga tidak terdapat pengaruh reaksi jangkar. Fluk hanya dihasilkan oleh arus medan (I_f). Bila besarnya arus medan dinaikkan maka tegangan output juga akan naik sampai titik saturasi (jenuh). Sedangkan untuk rugi tembaga sendiri terdiri dari rugi jangkar dan rugi medan. Pada tahap

ini terlebih dahulu menghitung nilai dari tembaga jangkar dari masing-masing fasa, sebagai contoh pada GTG 1 yaitu:

$$\begin{aligned}
 P_{cu \text{ jangkar fasa R}} &= I_a^2 \times R_a \dots\dots\dots (10) \\
 &= 4400^2 \times 0,001936 \\
 &= 37477,265 \text{ W} \\
 &= 0,037 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cu \text{ jangkar fasa S}} &= I_a^2 \times R_a \\
 &= 4400^2 \times 0,001940 \\
 &= 37551,088 \text{ W} \\
 &= 0,038 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cu \text{ jangkar fasa T}} &= I_a^2 \times R_a \\
 &= 4400^2 \times 0,001936 \\
 &= 37477,265 \text{ W} \\
 &= 0,037 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

$$Total \text{ Pcu jangkar} = 0,113 \text{ MW}$$

Besarnya tahanan jangkar merupakan data perolehan dari hambatan jangkar pada suhu 100°C yang sudah tertera pada tabel di atas. Begitupun untuk perhitungan pada GTG 2 dan GTG 3 menggunakan cara yang sama. Pada tahap selanjutnya yaitu mencari nilai dari rugi medan, yang terlebih dahulu mencari nilai hambatan medan dengan diubah ke suhu standart yaitu 125°C yang sesuai dengan standart spesifikasi dan sesuai dengan persamaan 3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 R_t &= R_0 (1 + \alpha \Delta t) \\
 &= 265,758 \times (1 + (0,0039 \times (125 - 30,5))) \\
 &= 265,758 + 1,87885 \\
 &= 499,319 \text{ miliohm} \\
 &= 0,4993 \Omega
 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai Pcu medan selanjutnya yaitu dengan mengalikan arus medan dengan hambatan medan yang telah di ketahui. Sebagai contoh dalam GTG 1 yaitu:

$$\begin{aligned}
 P_{cu \text{ medan}} &= I_f^2 \times R_f \dots\dots\dots (11) \\
 &= 1035^2 \times 0,4993 \\
 &= 53488,92 \text{ Watt} \\
 &= 0,053 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama maka dihitung pula untuk rugi medan pada GTG 2 dan GTG 3.

Selanjutnya dapat dihitung dari total rugi daya secara keseluruhan:

$$\sum Prugi = Rugi \text{ tanpa beban} + Pcu \text{ jangkar} + Pcu \text{ medan} \dots\dots\dots(12)$$

$$= 5,06 + 0,113 + 0,053$$

$$= 5,226 \text{ MW}$$

Untuk perhitungan pada selanjutnya termasuk GTG 2 dan GTG 3 juga dengan cara yang sama, maka diperoleh nilai sebagai berikut:

Tabel 10. Rugi-rugi daya GTG 1

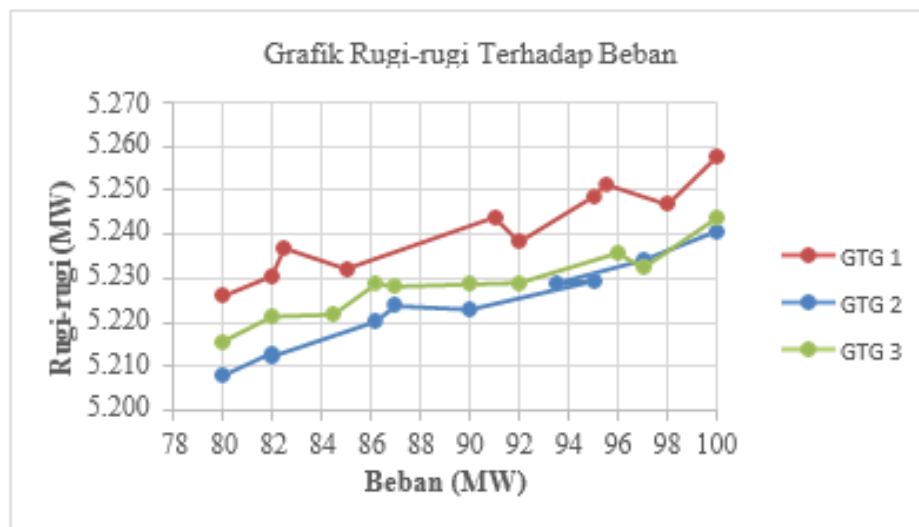
No	PNo load (MW)	Pcu Jangkar (MW)	Pcu Medan (MW)	$\sum rugi(MW)$
1	5,06	0,113	0,053	5,226
2	5,06	0,118	0,053	5,231
3	5,06	0,123	0,054	5,237
4	5,06	0,120	0,051	5,232
5	5,06	0,128	0,055	5,244
6	5,06	0,113	0,059	5,238
7	5,06	0,137	0,051	5,249
8	5,06	0,140	0,051	5,251
9	5,06	0,134	0,053	5,247
10	5,06	0,145	0,052	5,258

Tabel 11. Rugi-rugi daya GTG 2

No	PNo load (MW)	Pcu Jangkar (MW)	Pcu Medan (MW)	$\sum rugi(MW)$
1	5,06	0,113	0,035	5,208
2	5,06	0,118	0,035	5,213
3	5,06	0,118	0,034	5,212
4	5,06	0,126	0,034	5,220
5	5,06	0,129	0,035	5,224
6	5,06	0,129	0,034	5,223
7	5,06	0,134	0,035	5,229
8	5,06	0,134	0,034	5,229
9	5,06	0,140	0,034	5,234
10	5,06	0,146	0,035	5,241

Tabel 12. Rugi-rugi daya GTG 3

No	PNo load (MW)	Pcu Jangkar (MW)	Pcu Medan (MW)	$\Sigma rugi(MW)$
1	5,06	0,118	0,037	5,216
2	5,06	0,123	0,038	5,221
3	5,06	0,123	0,038	5,222
4	5,06	0,113	0,036	5,229
5	5,06	0,129	0,039	5,228
6	5,06	0,131	0,037	5,229
7	5,06	0,129	0,040	5,229
8	5,06	0,140	0,036	5,236
9	5,06	0,134	0,038	5,232
10	5,06	0,146	0,038	5,244



Gambar 4. Grafik Rugi-Rugi Terhadap Beban

Rugi medan dipengaruhi oleh arus medan dan juga oleh daya reaktif, hal ini dibuktikan dengan semakin besar daya reaktif maka semakin besar juga arus medan. Besar nilai beban mempengaruhi besarnya nilai rugi-rugi jangkar. Hal ini dapat diketahui pada GTG 1 beban 80MW menghasilkan rugi jangkar sebesar 0,113 dan pada beban puncak 100MW dengan rugi jangkar 0,145MW. Rugi terbesar pada GTG 1,GTG 2, dan GTG 3 yaitu pada beban 100MW. Semakin besar beban maka semakin besar rugi daya yang dihasilkan oleh generator, pada analisis ini GTG 1 yang menghasilkan rugi paling besar karena nilai arus medan yang besar.

3.2.5 Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi ini dapat dihitung sesuai perbandingan data beban dengan hasil total rugi yang di dapat, yaitu:

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan: η_{gen} = efisiensi generator (%)
 P_{out} = daya keluar (MW)
 P_{in} = daya masukan (MW)

Maka diperoleh pada GTG 1 beban 80MW dan total rugi 5,226MW, yaitu

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{80\text{MW}}{80\text{MW} + 5,226\text{MW}} \times 100\%$$

$$= 93,87 \%$$

Tabel 13. Efisiensi GTG 1

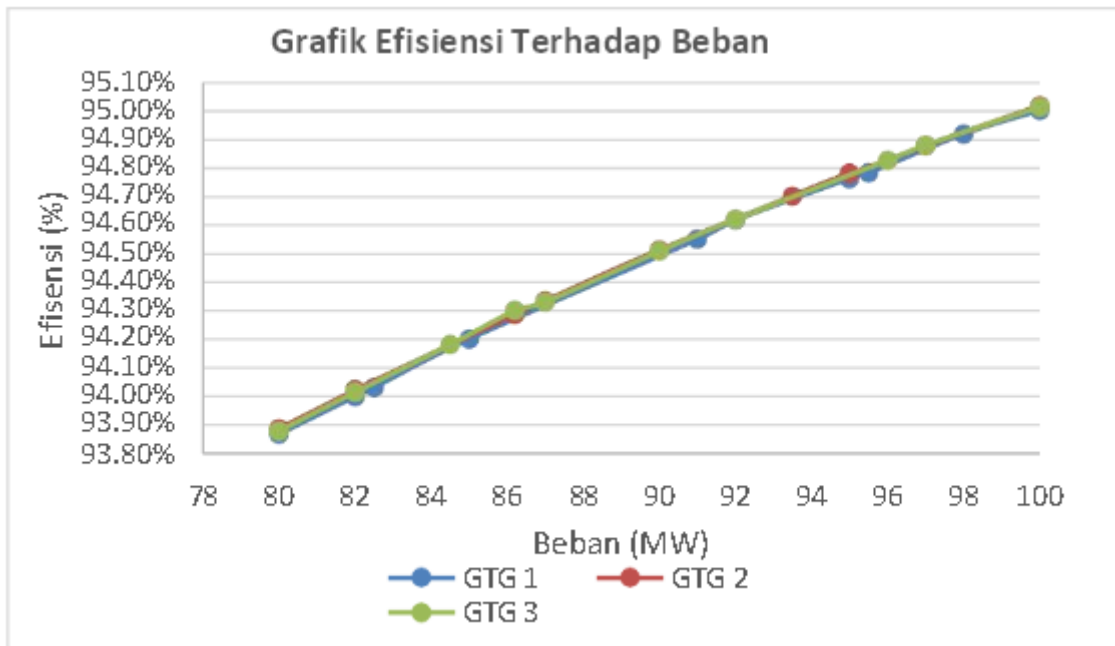
No	Mwatt (Pout)	Prugi (MW)	Pin (MW)	Efisiensi (%)
1	80	5,226	85,23	93,87%
2	82	5,231	87,23	94,00%
3	82,5	5,237	87,74	94,03%
4	85	5,232	90,23	94,20%
5	91	5,244	96,24	94,55%
6	92	5,232	97,23	94,62%
7	95	5,249	100,25	94,76%
8	95,5	5,251	100,75	94,79%
9	98	5,247	103,25	94,92%
10	100	5,258	105,26	95,00%
rata-rata				94,47%

Tabel 14. Efisiensi GTG 2

No	Mwatt (Pout)	P rugi (MW)	Pin (MW)	Efisiensi (%)
1	80	5,208	85,21	93,89%
2	82	5,213	87,21	94,02%
3	82	5,212	87,21	94,02%
4	86,2	5,220	91,42	94,29%
5	87	5,224	92,22	94,34%
6	90	5,223	95,22	94,51%
7	95	5,229	100,23	94,78%
8	93,5	5,229	98,73	94,70%
9	97	5,234	102,23	94,88%
10	100	5,241	105,24	95,02%
rata-rata				94,45%

Tabel 15. Efisiensi GTG 3

No	Mwatt (Pout)	Prugi (MW)	Pin (MW)	Efisiensi (%)
1	80	5,216	85,22	93,88%
2	82	5,221	87,22	94,01%
3	84,5	5,222	89,72	94,18%
4	86,2	5,209	91,41	94,30%
5	87	5,228	92,23	94,33%
6	90	5,229	95,23	94,51%
7	92	5,229	97,23	94,62%
8	96	5,236	101,24	94,83%
9	97	5,232	102,23	94,88%
10	100	5,244	105,24	95,02%
rata-rata				94,46%



Gambar 5. Grafik Efisiensi Terhadap Beban

Dapat diketahui bahwa semakin besar beban maka semakin besar pula nilai efisiensinya. Efisiensi terbesar yaitu pada GTG 3 dengan nilai rata-rata yaitu 94,46%. Dalam pengkonversian energi mekanik menjadi energi listrik generator akan mengalami *losses* yang mengakibatkan efisiensi pada generator tidak dapat mencapai 100%. Hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi pada generator yang menyebabkan adanya perubahan efisiensi generator saat beroperasi. Efisiensi generator dapat dioptimalkan dengan menambah kecepatan putar pada rotor. Penambahan kecepatan putar rotor membuat lilitan medan pada stator mencapai titik saturasi sehingga kerja generator semakin optimal. Setiap generator memiliki batas maksimal putar rotor yang berbeda, sehingga penambahan kecepatan rotor perlu disesuaikan dengan karakteristik generator yang digunakan. Penambahan kecepatan putar rotor yang melebihi batas maksimal akan berpengaruh terhadap kondisi generator dan berdampak pada ketidakstabilan tegangan yang dihasilkan.

4. PENUTUP

Dari hasil penelitian maka penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut:

- Besarnya nilai tegangan induksi di pengaruhi oleh nilai beban. Hal ini dikarenakan semakin banyak nilai beban maka semakin besar pula nilai tegangan induksi yang dihasilkan. Ini dikarenakan ketika generator di bebani maka akan muncul tegangan jatuh akibat reaktansi sinkron.
- Besarnya daya aktif dipengaruhi oleh nilai dari faktor daya atau $\cos\phi$. Nilai faktor daya yang kecil berakibat daya nyata yang tersalurkan juga kecil. Nilai faktor daya sendiri di

pengaruhi oleh nilai dari daya reaktif dari generator. Nilai faktor daya pada beban 80MW-100MW adalah 0,996-0,998, hal ini cukup baik karena faktor daya menurut spesifikasi yaitu sebesar 0,8.

- c. Terdapat nilai negatif pada daya reaktif yaitu -5,5 dan -7,5 pada GTG 1. Nilai ini menunjukkan bahwa generator berada pada daerah *leading*, hal ini dikarenakan generator menyerap daya aktif dari jaringan.
- d. Kenaikan daya masukan dan berkurangnya efisiensi generator dapat disebabkan oleh rugi- rugi tembaga. Sehingga energi yang seharusnya diubah menjadi energi listrik akan berubah menjadi panas.
- e. Semakin besar nilai beban maka semakin besar pula nilai efisiensinya. Efisiensi terbesar yaitu pada GTG 3 dengan nilai 94,46%. Besar nilai beban dapat menghasilkan nilai dari rugi-jangkar yang besar yang berakibat lilitan stator akan cepat panas. Pada saat beban puncak generator tidak boleh dioperasikan dengan waktu lama.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya dan berterimakasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini dan penyusunan naskah publikasi ini kepada:

- a. Bapak dan ibu sekaligus keluarga besar yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang selalu mendoakan, menasehati, sekaligus selalu memberi dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini
- b. Bapak Aris Budiman S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam tugas akhir
- c. Ibu dan Bapak dosen Teknik Elektro UMS yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama masa perkuliahan
- d. Siti Solihatul Imah, Rafika Putri Pratami, MSY. Azizah Ridha Utami, Ratnawati Handayani, Andy Widiyanto, Akatsuki 2016, dan teman seperjuangan kuliah lainnya yang selalu memberi dukungan dalam penyelesaian tugas akhir
- e. Alex Ardyawan yang selalu memberi dukungan selama penyelesaian tugas akhir
- f. Semua member Bangtan Sonyeondan (BTS), Kim Nam Joon, Kim Seok Jin, Min Yoon Gi, Jung Ho Seok, Park Ji Min, Kim Tae Hyung, Jeon Jungkook yang selalu memberi motivasi dan selalu ada dalam penyelesaian tugas akhir.
- g. Semua member Neo Culture Technology (NCT), Taeyong, Taeil, Johnny, Yuta, Kun, Doyoung, Ten, Jaehyun, WinWin, Jungwoo, Lucas, Mark, Xiao Jun, Hendery, Renjun, Jeno, Haechan, Jaemin, YangYang, Shotaro, Sungchan, Chenle, dan Jisung yang selalu

menemani dalam penyelesaian tugas akhir

- h. Serta pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah memberikan motivasi, dukungan, bantuan, serta doa dalam penyelesaian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahadi, M, 2014, *Pengertian generator, cara kerja generator, jenis generator, fungsi generator listrik*
- Ariadi S, 2015, *Analisis Penentuan Tegangan Terminal, Regulasi, dan Efisiensi Generator Sinkron 3 fasa Rotor Salient Pole dengan Metode Blondel (Two Reaction Theory)* Universitas Sumatra Utara, Sumatra Utara
- Bandri, S, 2013, *Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron*, Institut Teknologi Padang, Padang
- Febriyanto, A, 2013, *Konstruksi generator pada unit pembangkit*, Semarang
- Hariato, J, 1999, *Analisa Generator Sinkron Tiga Fasa 473 MVA/15,172 KA/18KV di PLTU Paiton Jawa Timur*, Universitas Kristen Petra
- Ridzki Imron, 2013, *Analisis Pengaruh Perubahan Eksitasi Terhadap Daya Reaktif Generator*, Politeknik Negeri Malang, Malang
- Sumanto, Drs. *Mesin Sinkron*. Edisi kedua Penerbit Andi offset Yogyakarta, 1996
- Munandar, Trisnanto, 2017, *Analisa Kinerja Generator Turbin Gas Terhadap Perubahan Beban pada PT. Indonesia Power Unit Pembangkit Semarang*, Semarang
- Tambak lorok service manual turbin accessories and Generator GTG*
- Wawan setyawan, 2014, *Analisa pengaruh beban terhadap efisiensi generator PLTU di PT. PJBU Unit Pembangkit Muara Karang*, Universitas Mercu Buana, Jakarta
- Winny, D, 2015, *Analisis Pengaruh beban terhadap efisiensi generator sinkron pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Pangkalan Susu*, Politeknik Negeri Medan, Medan.